



①⑨ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 100 21 289 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**F 17 C 3/00**

②① Aktenzeichen: 100 21 289.1  
②② Anmeldetag: 2. 5. 2000  
④③ Offenlegungstag: 8. 11. 2001

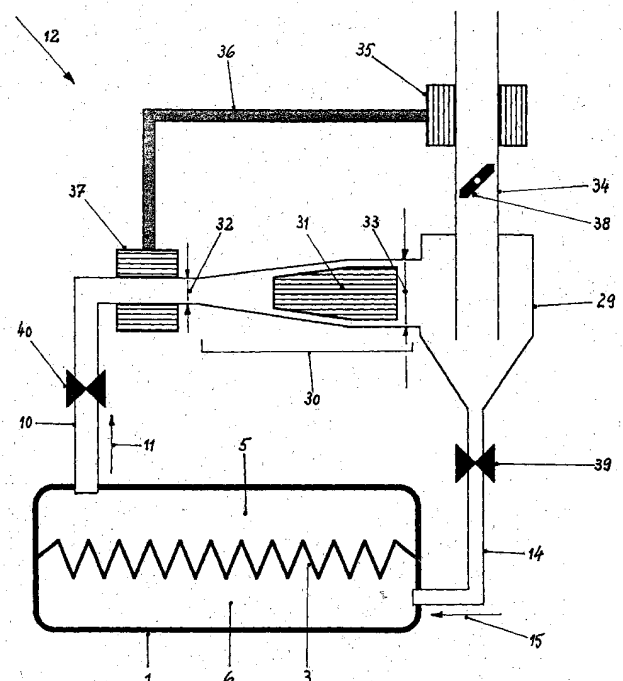
**DE 100 21 289 A 1**

⑦① Anmelder:  
Ludwig Bölkow Stiftung, 85521 Ottobrunn, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
Frick, G., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 85521 Ottobrunn

⑦② Erfinder:  
Navé, Peter, Dr., 85662 Hohenbrunn, DE; Kroy,  
Walter, Dr., 85521 Ottobrunn, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

- ⑤④ Tankanlage für aus kleinen bis kleinsten Festkörpern bestehendes, mit einem brennbaren Gas beladbares Schüttgut und einer Einrichtung zum Entladen des Schüttgutes
- ⑤⑦ Die Erfindung eine Tankanlage für aus kleinen bis kleinsten Festkörpern bestehendes, mit einem brennbaren Gas beladbares Schüttgut, das beispielsweise mit Wasserstoff anfüllbar ist, sowie eine Einrichtung zum Entladen des Schüttgutes. Erfindungsgemäß ist das Füllvolumen des Tanks in zwei hermetisch voneinander getrennte Abteilungen unterteilt, derart, daß diese hinsichtlich ihrer Volumina wechselweise reziprok zwischen dem Wert "nahezu Null" und dem nahezu gesamten Füllvolumen des Tanks variierbar sind, und dass der Tank mit einer Einrichtung zum Entladen des Schüttgutes verbunden ist, die es gestattet, das entladene Schüttgut in den Tank zurückzuführen.



**DE 100 21 289 A 1**

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf eine Tankanlage gemäß dem Oberbegriff von Patentanspruch 1.

**[0002]** Eine der Speichermöglichkeiten für Wasserstoff an Bord von mit Brennstoffzellen bestückten Elektrofahrzeugen ist die Adsorption von Wasserstoffan und in sogenannten Nanoröhrchen, einer Modifikation von Graphit, der mit den "fullerene" genannten kugelförmigen Kohlenstoffgroßmolekülen verwandt ist. Um den adsorbierten Wasserstoff in den Brennstoffzellen verwenden zu können, muß er bei vorzugsweise erhöhter Temperatur desorbiert und anschließend von den entleerten Nanoröhrchen getrennt werden. Da die Herstellung des Röhrchenmaterials aufwendig ist und wesentliche Kostensenkungen nicht zu erwarten sind, müssen die Röhrchen nach ihrer Entladung für das Wiederverwenden gesammelt werden. Wenn auch die Röhrchen mechanisch relativ widerstandsfähig sind, so müssen sie dennoch sehr schonend behandelt werden, damit beim Entladen möglichst wenige von ihnen zu Bruch gehen.

**[0003]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, im Rahmen der erfindungsgemäßen Tankanlage zunächst einen Tank vorzuschlagen, der es gestattet, das entladene Schüttgut schonend und außerdem sehr raumsparend wieder in sich aufzunehmen, während das zu entladende Schüttgut dem gleichen Tank entnommen wird.

**[0004]** Gelöst ist diese Aufgabe generell durch das Kennzeichen von Patentanspruch 1, und im besonderen durch die kennzeichnenden Teile der Patentansprüche 2 bis 4. Während das mit einem brennbaren Gas beladene Schüttgut dem Tank entnommen wird, kann das entladene Schüttgut in den gleichen Tank zurückströmen, da dieser zwei hermetisch voneinander getrennte Abteilungen besitzt, die durch das Trennelement – eine hochflexible Membran oder ein längsaxial verschiebbarer Kolben – hinsichtlich ihrer Volumina wechselweise zwischen dem Wert "nahezu Null" und dem nahezu gesamten Füllvolumen des Tanks variierbar sind.

**[0005]** Des weiteren schlägt die Erfindung eine Einrichtung zum Entladen des Schüttgutes vor, die es erlaubt, das Schüttgut während des Entladungsverfahrens äußerst schonend zu behandeln.

**[0006]** Gelöst ist diese Aufgabe durch die kennzeichnenden Teile der Patentansprüche 5–14.

**[0007]** Da das oben erwähnte Schüttgut, zum Beispiel die Nanoröhrchen, sehr klein sind – ihre Länge liegt im Mikrometerbereich und ihr Durchmesser im Nanometerbereich – wäre die Trennung der entleerten Nanoröhrchen vom Gas mittels Filtern äußerst schwierig. Die Filter würden schnell verstopft sein, und das Schüttgut könnte nur sehr aufwendig aus dem Filtermaterial entfernt werden. Erfindungsgemäß wird daher grundsätzlich vorgeschlagen, die Trennung der Gasphase von der Feststoffphase mit einem Zyklon vorzunehmen. Die Entnahme des beladenen Schüttgutes aus dem Tank, sein Weitertransport in den Zyklon und die Rückführung des entladenen Schüttgutes wiederum in den Tank erfolgt durch entsprechende Druckgefälle, die auf unterschiedliche Weise erzeugt werden können.

**[0008]** Verfolgt man zum Beispiel den Weg des Schüttgutstroms vom Tank zur Desorptionsstelle bei einer Tankanlage gemäß Anspruch 5, so begegnet man zunächst einem Ventil möglichst in Verbindung mit einem Drucksensor zur Steuerung und Überwachung der erfindungsgemäßen Tankanlage. Danach durchläuft der Schüttgutstrom den ersten Teil eines Wärmetauschers, wo er Wärme aus dem bereits aufbereiteten Gasstrom aufnimmt. Hierauf folgt die Stelle, wo der Schüttgutstrom auf die gewünschte bzw. notwendige Desorptionstemperatur aufgeheizt wird. Die betreffende Heizung kann entweder elektrisch oder auch als Wärmepumpe

ausgebildet sein oder sogar durch eine Wasserstoffflamme realisiert werden. Die herrschende Temperatur wird durch einen oder mehrere Temperatursensoren kontrolliert. Die durch die Aufheizung des Wasserstoffs bedingte Ausdehnung kann durch entsprechend eingestellten Druck klein gehalten werden.

**[0009]** Nach Passieren des zweiten Teils des Wärmetauschers, der die nicht mehr benötigte Wärme dem Schüttgutstrom entzieht, gelangt dieser in einen Zyklon. In diesem werden nach dem bekannten Zyklonprinzip das Gas und das Schüttgut voneinander getrennt. Während das entladene Schüttgut in die dafür vorgesehene Abteilung des Tanks wandert, wird der Gasstrom über eine dafür vorgesehene Rohrleitung, die gegebenenfalls mit einem Feinsieb sowie einer Drossel in Verbindung mit einem Drucksensor ausgestattet ist, dem Verbraucher zugeführt.

**[0010]** Um einen gerichteten Schüttgutstrom zu erhalten, muß die Desorption intermittierend arbeiten. Zur Verdeutlichung dieser Arbeitsweise sind die einzelnen Stufen des Zyklus detailliert im Zusammenhang mit der Tankanlage gemäß der **Fig. 3** beschrieben.

**[0011]** In einer Tankanlage gemäß Anspruch 5 sind diverse Sensoren erforderlich, die zusammen mit einem nicht näher ausgeführten und nicht gezeigten Steuergerät die Heizung sowie die notwendigen Ventile bzw. Schieber der Zyklusbeschreibung gemäß zeitrichtig ansteuern.

**[0012]** Die vorstehend beschriebene Tankanlage arbeitet ohne Pumpen, was eine wichtige Voraussetzung für die schonende Behandlung des Schüttgutes ist. Ebenso fehlen Filter und Siebe bei der Trennung des Gases von der Feststoffphase.

**[0013]** Des weiteren kann ein vom Ende des Zyklons partiell abgezwigter Wasserstoffgasstrom über eine Turbine in dem Tank mit dem beladenen Schüttgut einen Überdruck erzeugen, derart dass hierdurch das beladene Schüttgut durch eine andere Rohrleitung zum Entladen in den Zyklon gedrückt wird. Die Turbine kann als Axialturbine ausgebildet sein; zwischen ihren starr miteinander verbundenen Schaufelrädern können sich Heizelemente befinden, die die Gastemperatur auf die erforderliche Desorptionstemperatur erhöhen. Die Heizung kann vorteilhaft elektrisch ausgelegt sein. Vorstellbar wäre aber zum Beispiel auch hier eine Wärmepumpe oder eine Wasserstofflampe. Die Schaufeln der Turbine sind nach aerodynamischen Prinzipien an die thermische Ausdehnung des Gasstromes um den Faktor ca. 3,7 angepasst. Dieser Faktor kann durch Arbeitsdruckerhöhung verkleinert werden. Weitere Einzelheiten der erfindungsgemäßen Tankanlage sind detailliert in der Abbildungsbeschreibung enthalten.

**[0014]** Die erfindungsgemäße Einrichtung zum Entladen des Schüttgutes zeichnet sich zusammenfassend durch folgende Vorteile aus: keine Pumpen, keine Filter oder Siebe und – je nach Bedarf – ist auch ein kontinuierlicher Desorptionsbetrieb möglich.

**[0015]** Als Turbine kann auch eine Radialturbine zum Einsatz kommen im Rahmen der erfindungsgemäßen Tankanlage.

**[0016]** Außerdem kann bei einem nichtkontinuierlichen Betrieb der erfindungsgemäßen Tankanlage eine einfache mechanische Pumpe Verwendung finden, wie sie beispielsweise in der nachfolgenden Abbildungsbeschreibung hinsichtlich der **Fig. 5** erläutert ist.

**[0017]** Schließlich könnte es auch sinnvoll sein, den Transport des Schüttgutes – vor allem bei stationären Anlagen – durch an sich bekannte Rüttleinrichtungen zu realisieren; für mobile Anlagen – wie zum Beispiel für Kraftfahrzeuge – dürfe jedoch diese Art des Schüttguttransportes weniger geeignet sein, wenngleich man ihn jedoch auch hier

nicht ganz ausschließen kann.

**[0018]** Um den gesetzlichen Bestimmungen zu genügen, sollte die erfindungsgemäße Tankanlage gegenüber ihrer Umgebung vollends hermetisch abschließbar sein, um bei Wasserstoffleckagen gravierende Schäden zu vermeiden.

**[0019]** In den Abbildungen ist die die Erfindung anhand der **Fig. 1** bis **5** zeichnerisch erläutert. Es zeigen:

**[0020]** **Fig. 1** einen Tank mit einer Membran zur Verwendung in einer erfindungsgemässen Tankanlage,

**[0021]** **Fig. 2** einen Tank mit einem Kolben, ebenfalls verwendbar in einer erfindungsgemässen Tankanlage,

**[0022]** **Fig. 3** eine Tankanlage zum Entladen von mit brennbarem Gas beladenen Schüttgut aus kleinsten Festkörpern,

**[0023]** **Fig. 4** eine Tankanlage zum kontinuierlichen Entladen von Schüttgut gemäss **Fig. 3**,

**[0024]** **Fig. 5** ein Pumpsystem zum bedarfsweisen Einsatz in Tankanlagen gemäss den **Fig. 3** und **4**.

**[0025]** Der Tank **1** gemäss **Fig. 1** ist erfindungsgemäss längsmittig durch eine flexible Membran **3** in zwei voneinander getrennte Abteilungen **5** und **6** unterteilt. Wird die Abteilung **5** mit Schüttgut aus beispielsweise mit Wasserstoff angereicherten Nanoröhrchen gefüllt, so nähert sich die Membran **3** mit zunehmender Füllung dem unteren Innenbereich **9** des Tanks **1** bis zum völligen Anliegen; in diesem Zustand ist für die Abteilung **5** des Tanks **1** dessen nahezu 100%iges Füllvolumen nutzbar. Das gleiche gilt umgekehrt für die Abteilung **6** des Tanks **1**. In diesem Falle liegt die Membran **3** vollends an dem oberen Innenbereich **16** des Tanks **1**, sobald die Abteilung **6** gefüllt ist. Die Rohrleitung **10** des Tanks **1** führt gemäss Pfeilrichtung **11** zu einer Entladeeinrichtung **12** bzw. **13** gemäss den **Fig. 3** und **4**. Von der Entladeeinrichtung **12** bzw. **13** wird das entladene Schüttgut durch die Rohrleitung **14** gemäss der Pfeilrichtung **15** in den Tank **1** zurückgeführt, und zwar in dessen Abteilung **6**. Dadurch, dass im gleichen Zuge das Entleeren der Abteilung **5** durch die Rohrleitung **10** erfolgt, bewegt sich mit dem Füllen der Abteilung **6** die Membran **3** des Tanks **1** gemäss **Fig. 1** so lange nach oben, bis sie im 100%igen Füllzustand der Abteilung **6** an der oberen Innenfläche **16** des Tanks **1** zum Anliegen kommt. In diesem Zustand ist die Abteilung **5** vollends entleert. Sie kann wieder zum erneuten "Auftanken" mit beladenem Schüttgut gefüllt werden, nachdem das entladene Schüttgut aus der Abteilung **6** entfernt wurde, wonach der vorher beschriebene Vorgang des Entladens erneut beginnen kann. Die Rohrleitung **17** gemäss **Fig. 1** dient gemäss Pfeilrichtung **18** zum Erzeugen eines Innendruckes in der Abteilung **5**, um deren Entleerungsstrom des Schüttgutes durch die Rohrleitung **10** in Gang zu setzen und aufrecht zu erhalten.

**[0026]** **Fig. 2** zeigt einen Tank **2** in Zylinderform (liegend), der in seinem Inneren mit einem Kolben **4** bestückt ist, welcher den Innenraum des Tanks **2** in die beiden Abteilungen **7** und **8** unterteilt. Der Kolben **4** kann mit einer Kolbenstange **19** verbunden sein, die es erlaubt, den Kolben **4** entsprechend der Doppelpfeilrichtung **20** von aussen zu bewegen und ihn im Bedarfsfalle mittels geeigneter Hilfseinrichtungen auch zu steuern in seinem Bewegungsablauf. In voll mit Schüttgut aus zum Beispiel mit einem brennbaren Gas angereicherten Nanoröhrchen bestückter Abteilung **7** liegt der Kolben **4** an der inneren Stirnfläche **21** des Tanks **2** (rechts im Bild) an. Die Abteilung **7** entspricht dann nahezu dem gesamten Füllvolumen des Tanks **2**, und so kann dieses nahezu vollends zur Aufnahme von angereichertem Schüttgut benutzt werden. Wenn nun das Schüttgut aus der Abteilung **7** nach und nach durch die Rohrleitung **22** entsprechend der Pfeilrichtung **23** einer Entladungseinrichtung, zum Beispiel der Einrichtung **13** gemäss der **Fig. 4** zugeleitet wird,

kann sich der Kolben **4** in dem Maße, wie es die Entnahme des Schüttgutes aus der Abteilung **7** zulässt, nach links bewegen in Richtung auf die innere Stirnfläche **24** des Tanks **2**. Während dieses Vorganges vergrössert sich in gleichem

Maße das Volumen der Abteilung **8**, entsprechend der Abnahme des Volumens der Abteilung **7**. Die Abteilung **8** ist damit ab Beginn des Entladevorganges verfügbar zur Aufnahme von entladenem Schüttgut, welches ihr durch die Rohrleitung **25**, die den Tank **2** mit der Entladungseinrichtung **12** oder **13** verbindet, zugeführt werden kann entsprechend der Pfeilrichtung **26**. Dies ist so lange möglich, bis der Kolben **4** an der Stirnfläche **24** des Tanks **2** zum Anliegen kommt. In diesem Zustand ist der Tank **2** "leer"; die Abteilung **7** kann dann wieder mit einem brennbaren Gas angereicherten Schüttgut gefüllt werden, nachdem die Abteilung **8** entleert und der Kolben **4** bis zu seinem Anliegen an der inneren Stirnfläche **21** des Tanks **2** nach rechts bewegt wurde.

**[0027]** Bei der Rohrleitung **27** handelt es sich analog zu der Rohrleitung **17** gemäss **Fig. 1** um eine Druckzuführungsleitung. Die Pfeilrichtung **28** verdeutlicht die Druckzuführungs-Richtung. Die **Fig. 3** zeigt einen Tank **1**, der über die Rohrleitungen **10** und **14** mit einer Entladungseinrichtung **12** verbunden ist. Dem Tank **1** fehlt hier lediglich die Rohrleitung **17** gegenüber der Darstellung in **Fig. 1**. Die Rohrleitung **10** führt entsprechend der Pfeilrichtung **11** letztendlich zu einem Zyklon **29**. In dem Bereich **30** der Rohrleitung **10** ist eine Heizung **31** vorgesehen; ausserdem ist in dem Bereich **30** der Anfangsdurchmesser **32** der Rohrleitung **10** bis hin zum Eintritt in den Zyklon **29** auf den grösseren Durchmesser **33** erweitert. Die Heizung bewirkt das Entladen des Schüttgutes. Das Gemisch aus entladenem Schüttgut und dem brennbaren Gas strömt sodann in den Zyklon **29**, wo es in an sich bekannter Weise getrennt wird. Das Schüttgut fällt aufgrund seines gegenüber dem Gas beachtlich grösseren spezifischen Gewichtes aus dem Zyklon **29** nach unten aus und kann über die Rohrleitung **14** der Abteilung **6** des Tanks **1** zugeleitet werden. Gleichzeitig wird das brennbare Gas über die Rohrleitung **34** seiner Verwendung in einer Brennstoffzelle oder in einer Brennkraftmaschine zugeführt. Da das Gas durch das Aufheizen des Schüttgutes nach der Trennung von diesem noch sehr warm ist, kann es wirtschaftlich sein, einen Wärmetauscher vorzusehen, der in seinem die Rohrleitung **34** umschliessenden Teil **35** möglichst viel Wärme aus dem abströmenden Gas aufnimmt und diese über die Rohrleitung **36** und seinen die Rohrleitung **10** noch vor deren Bereich **30** umschliessenden Teil **37** in die Rohrleitung **10** bzw. in das darin befindliche Schüttgut leitet. Die Ventile **38**, **39** und **40** dienen der Regelung der Entladungseinrichtung **12**.

**[0028]** Im Falle der Entladungseinrichtung **12** gemäss der **Fig. 3** werden die Druckzuführungs Rohrleitungen **18** und **39** gemäss den **Fig. 1** und **2** bei den Tanks **1** und **2** nicht benötigt, da hier der erforderliche Druck zum Ingangsetzen und Aufrechterhalten des Entladenvorganges anderweitig erzeugt und aufrecht erhalten wird. Um hier einen gerichteten und überschaubaren, kontrollierbaren Schüttgutstrom zu erhalten, muß die Desorption des an dem Schüttgut adsorbierten Gases intermittierend vorgenommen werden. Um dies zu verdeutlichen, werden nachfolgend die einzelnen Stufen des Zyklus beschrieben.

**[0029]** Zunächst wird der Heizraum – das heisst das Innere der Rohrleitung **10** im Bereich **30** – mit frischem, geladenem Schüttgut gefüllt. Das Ventil **40** ist geschlossen, ebenso die Ventile **39** und **38**. Sodann wird die Heizung **31** eingeschaltet, wodurch der Druck im Zyklon ansteigt. Jetzt wird das Drosselventil **38** etwas geöffnet. In dem hierdurch entstehenden Gasstrom bildet sich in dem Zyklon ein Wirbel

aus, durch den das durch das Aufheizen entladene Schüttgut abgeschieden wird. Nun wird das Ventil **38** wieder geschlossen und das Ventil **39** geöffnet. Der im Zyklon **29** noch herrschende Überdruck drückt gegen die Membran **3** im Tank **1** und ist somit in der Lage, frisches Schüttgut in die Rohrleitung **10** zu drücken. Nach dem Schließen des Ventils **39** wird das Ventil **40** so lange geöffnet, bis sich hinreichend frisches, noch geladenes Schüttgut in dem Heizraum befindet, wo dann unverzüglich der Entladungsvorgang einsetzt. Damit kann der vorstehend beschriebene Zyklus von neuem beginnen.

[0030] In der in der **Fig. 3** schematisch dargestellten, erfindungsgemäßen Tankanlage sind zur zeitlichen gegenseitigen Abstimmung der einzelnen Verfahrensschritte – für einen einschlägigen Fachmann selbstverständlich – diverse Sensoren inklusive einer Steuereinrichtung für das zeitgerechte Regeln bzw. Steuern der Heizung sowie der Ventile erforderlich. Außerdem kann es sich bei der Realisierung der Anlage als notwendig erweisen, noch weitere, z. B. optische Sensoren und gegebenenfalls auch Pufferbehälter für das Schüttgut vorzusehen.

[0031] Die erfindungsgemäße Tankanlage arbeitet vorteilhafterweise ohne Pumpen, was eine ganz wesentliche Voraussetzung ist für eine schonende Behandlung des empfindlichen Schüttgutes ist. Ebenso vermeidet die Erfindung jegliche Filter, Siebe oder dergleichen zum Trennen des Gases von der Feststoffphase. Bei der Kleinheit der Schüttgutteilchen, zum Beispiel der Nanoröhrchen, wären beispielsweise Filter mit hinreichender Lebensdauer und notwendigen Abscheidegraden kaum kostengünstig bzw. wirtschaftlich herzustellen.

[0032] Bedarfsweise kann im Tank **2** in dessen Ableitung **7** ein darin benötigter Druck über die Kolbenstange **19** und den Kolben **4** erzeugt werden.

[0033] Die Entladungseinrichtung **13** gemäss der **Fig. 4** ist mit einem Tank **1** gemäss der **Fig. 1** bestückt. Des weiteren arbeitet sie voll kontinuierlich, dank einer Axialturbine **41**, die über die Rohrleitung **17** in der Abteilung **5** des Tanks **1** einen Druck erzeugt und diesen auch aufrecht erhält. Dieser Druck bewirkt das Ausströmen des in der Abteilung **5** bereits entladenen Schüttgutes, da die Turbine **41** dank ihrer Heizeinrichtung **42** die erforderliche Wärme neben dem Druck in die Abteilung **5** einbringt. Aus dieser strömt das Gemisch aus entladenen Schüttgut und einem brennbaren Gas durch die Rohrleitung **10** in einen Zyklon **43**. Dort erfolgt wiederum in an sich bekannter Weise die Trennung des Gases von dem entladenen Schüttgut. Das Gas wird durch die Rohrleitung **44** seiner Verwendung in einer Brennstoffzelle oder in einer Brennkraftmaschine zugeführt. Das entladene Schüttgut wird aus dem Zyklon **43** über die Rohrleitung **14** der Abteilung **6** des Tanks **1** zugeführt. Die Rohrleitungen **10** und **17** sind über einen Wärmetauscher **45** verbunden, der überschüssige Wärme aus der Rohrleitung **10** in die Rohrleitung **17** überträgt. Ein Ventil **46** in der Rohrleitung **44** gestattet die Regulierung der Menge des abzuführenden Gases.

[0034] Die **Fig. 5** zeigt ein Pumpsystem, welches bedarfsweise in Tankanlagen gemäss den **Fig. 3** und **4** zum Transportieren des Schüttgutes eingesetzt werden kann. Ein Rohr **47** mit rundem, quadratischem oder auch rechteckigem Querschnitt ist mit den beiden Klappenventilen **48** und **49** ausgestattet, die in ihrer Grundstellung mit schwachem, hier nicht dargestellten Federdruck offen gehalten werden. Wird der Kolben **50** in dem seitlich mit dem Rohr **47** verbundenen Zylinder **56** in Richtung **51** nach unten bewegt, so schliesst sich das Ventil **48** gegen seinen Federdruck und seinen Anschlag **58** und der Inhalt des Raumes **52** kann in Richtung **53** durch das offene Ventil entweichen. Handelt es sich bei dem

Inhalt um Schüttgut im Rahmen der Erfindung, so kann man sich leicht vorstellen, dass dieses auf diese Weise mit der vorliegenden Pumpeinrichtung intermittierend in Richtung **11** gemäss **Fig. 3** transportierbar ist, wenn jene mit ihrem Rohr **47** in die Rohrleitung **10** der Tankanlagen gemäss den **Fig. 3** und **4** entsprechend integriert ist.

[0035] Wird der Kolben **50** in dem Zylinder **56** in der Richtung des Pfeiles **54** bewegt, dann schliesst sich das Ventil **49** gegen seinen Federdruck und seinen Anschlag **57**, während die Klappe des Ventils **48** von ihrem Anschlag **58** abhebt, so dass jetzt in Pfeilrichtung **55** weiteres Schüttgut in den Raum **52** einströmen kann.

[0036] Die verschließbaren Durchbrüche **59** und **60** in der linken Stirnwand des Tanks **1** gemäß der **Fig. 1** dienen je nach Bedarf zum Befüllen bzw. zum Entleeren der Abteilungen **5** und **6** des Tanks **1**.

[0037] Entsprechend verschließbare Durchbrüche sind auch bei einem Tank **2** gemäß der **Fig. 2** vorzusehen um dort die Abteilungen **7** und **8** bedarfsweise mit Schüttgut be- und/oder entladen zu können.

[0038] Gleiches gilt auch für die in den **Fig. 3** und **4** gezeigten Anlagen, wo bei dem hier verwendeten Tank **1** die Durchbrüche **59** und **60** entsprechend vorzusehen sind.

[0039] Des weiteren kann es unter Beachtung der Vorschriften betreffend den Umgang mit Wasserstoff notwendig sein, die Tankanlagen **12** und **13** gemäß den **Fig. 3** und **4** gegenüber ihrer Umgebung hermetisch abzuschließen. Hierdurch können im Falle von unerwarteten Wasserstoffleckagen Schäden vermieden werden.

[0040] Auch können die Membran **3** und der Kolben **4** inklusive dessen Kolbenstange **19** zu Füllstandsmessungen bzw. zu Füllstandsanzeigen der Tanks **1** und **2** verwendet werden. Hierzu müsste die Membran **3** mit geeigneten Sensoren, zum Beispiel mit optischen Sensoren bestückt werden, während beim Tank **2** dessen aktueller Füllstand direkt an der Stellung der Kolbenstange **19** ablesbar gemacht werden kann.

#### Patentansprüche

1. Tankanlage für aus kleinen bis kleinsten Festkörpern bestehendes, mit einem brennbaren Gas beladbares Schüttgut – wie zum Beispiel kugelförmige Festkörper mit Poren- bzw. Kanalstrukturen zum Speichern von Gasen gemäß dem deutschen Patent (Patentanmeldung 100 07 544.4) oder Nanoröhrchen, die beispielsweise mit Wasserstoff gefüllt sind – mit einer Einrichtung zum Entladen des Schüttgutes, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Füllvolumen des Tanks (**1, 2**) durch ein flexibles und/oder bewegliches Element (**3, 4**) in zwei hermetisch von einander getrennte Abteilungen (**5, 6** und **7, 8**) unterteilt ist, wobei es das Element (**3, 4**) gestattet, dass die Abteilungen (**5, 6** und **7, 8**) hinsichtlich ihrer Volumina wechselweise reziprok zwischen dem Wert "nahezu Null" und dem nahezu gesamten Füllvolumen des Tanks (**1, 2**) variierbar sind, und dass der Tank (**1, 2**) mit einer an sich bekannten Einrichtung (**12, 13**) zum Entladen des Schüttgutes verbunden ist, die jedoch so ausgebildet ist, dass das entladene Schüttgut in den Tank (**1, 2**) zurückführbar ist.

2. Tankanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Tank (**1, 2**) längsmittig durch eine flexible Membran (**3**) in zwei hermetisch voneinander getrennte Abteilungen (**5, 6**) unterteilt ist.

3. Tankanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zylinderförmige Tank (**2**) durch einen Kolben (**4**) in zwei hermetisch voneinander getrennte Abteilungen (**7, 8**) unterteilt ist.

4. Tankanlage nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Kolben (4) mit einer nach aussen führenden Kolbenstange (19) verbunden ist, die zu Steuerzwecken benutzbar ist.
5. Tankanlage nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Abteilung (5) des Tanks (1) gemäß **Fig. 3** über eine Rohrleitung (10) mit einem Zyklon (29) verbunden ist, dass eine weitere Rohrleitung (14) den Zyklon (29) mit der Abteilung (6) des Tanks (1) verbindet, dass in dem trichterförmig erweiterten Bereich (30) der Rohrleitung (10) eine Heizung (31) vorgesehen ist, dass der Zyklon (29) eine Rohrleitung (34) zum Weiterleiten der brennbaren Gase besitzt und dass die Rohrleitungen (10, 14, 34) mit Ventilen (40, 39, 38) versehen sind.
6. Tankanlage nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohrleitungen (34) und (10) über einen Wärmetauscher (35, 36, 37) miteinander verbunden sind.
7. Tankanlage nach den Ansprüchen 5 und 6, dadurch gekennzeichnet, dass in den Rohrleitungen (10, 14, 34) zusätzlich zu den Ventilen (40, 39, 38) noch Sensoren vorgesehen sind, die in Verbindung mit einer geeigneten Steuereinrichtung in der Lage sind, die erfindungsgemäße Tankanlage zu regeln bzw. zu steuern.
8. Tankanlage nach den Ansprüchen 1 und 2 mit einer Einrichtung zum kontinuierlichen Entladen des Schüttgutes, dadurch gekennzeichnet, dass die Abteilung (5) des Tanks (1) gemäß **Fig. 4** über Rohrleitungen (10 und 17) mit einem Zyklon (43) verbunden ist, während dieser über eine Rohrleitung (14) mit der Abteilung (6) des Tanks (1) in Verbindung steht, dass weiterhin in der Rohrleitung (17) eine Axialturbine (41) mit einer Heizung (42) vorgesehen ist zum Aufbau eines Druckes in Pfeilrichtung (18), und dass schließlich der Zyklon (43) mit einer Rohrleitung (44) mit einem Ventil (46) verbunden ist zum Weiterleiten der brennbaren Gase.
9. Tankanlage nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohrleitungen (10) und (17) durch einen Wärmetauscher (45) miteinander verbunden sind.
10. Tankanlage nach den Ansprüchen 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass in den Rohrleitungen (34, 44) Feinsiebe vorgesehen sind.
11. Tankanlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zum Transportieren des Schüttgutes ein Pumpsystem gemäß der **Fig. 5** dient.
12. Tankanlage nach einem oder mehreren der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zum Transportieren des Schüttgutes an sich bekannte Rüttelsysteme eingesetzt werden.
13. Tankanlage gemäß den Ansprüchen 5 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass zum Regeln bzw. Steuern des Schüttgutstroms in an sich bekannter Weise beliebig viele Ventile, Schieber und Sensoren vorgesehen sind.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

60

65

- Leerseite -

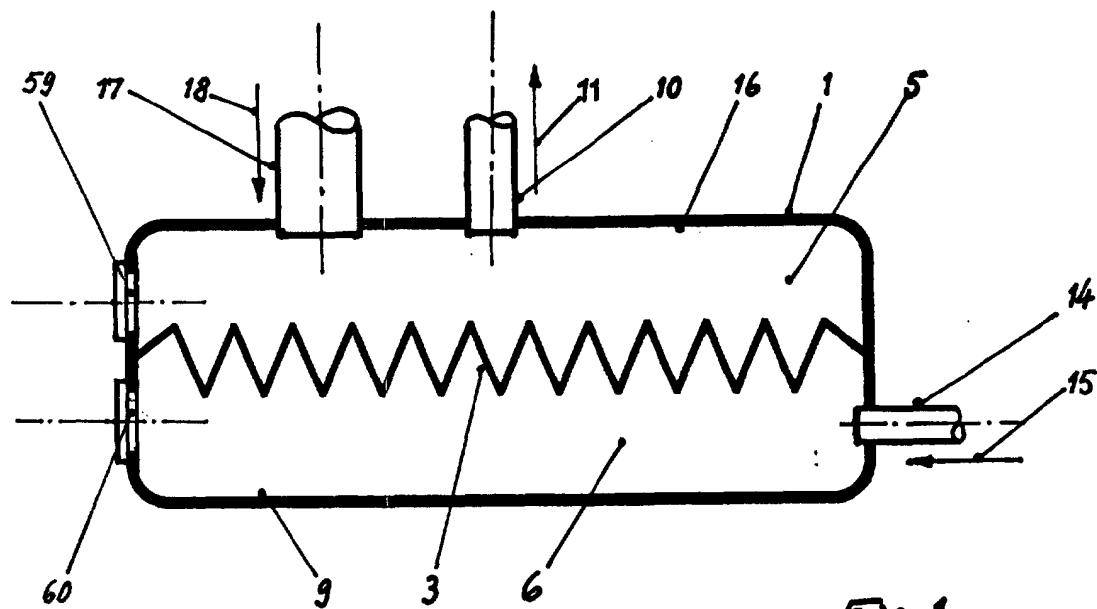


Fig. 1

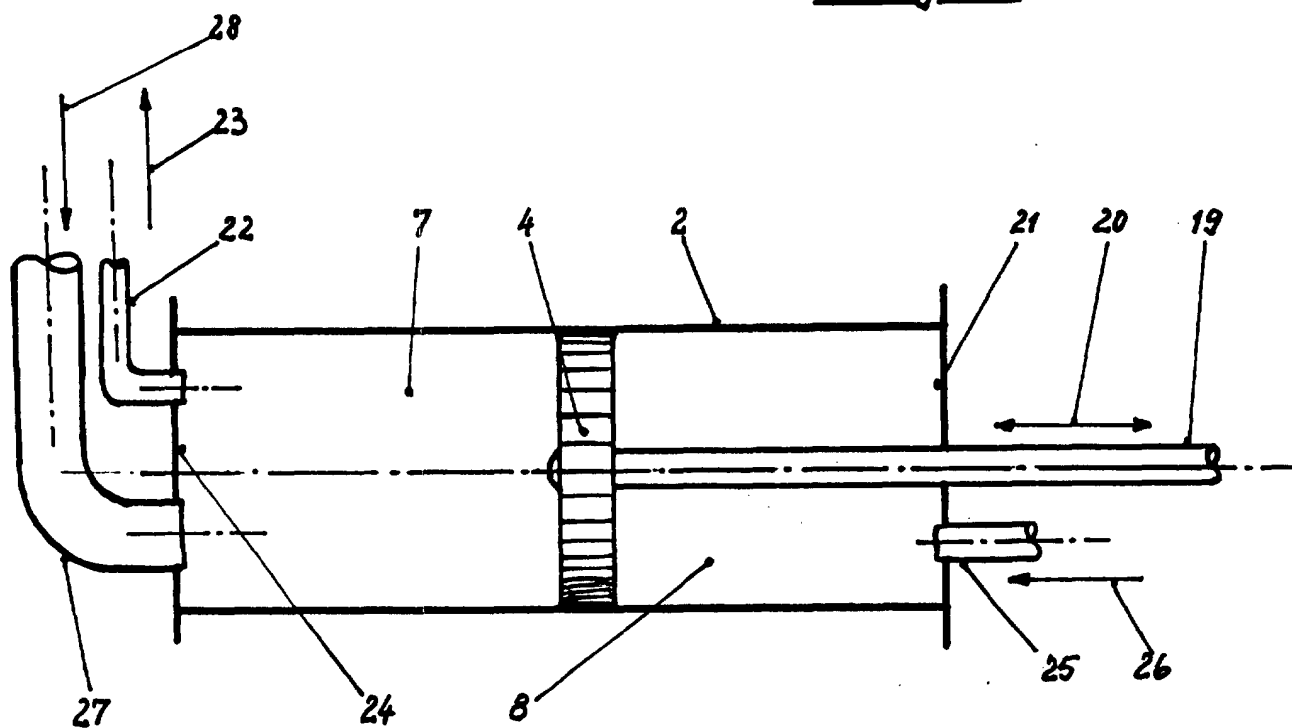


Fig. 2

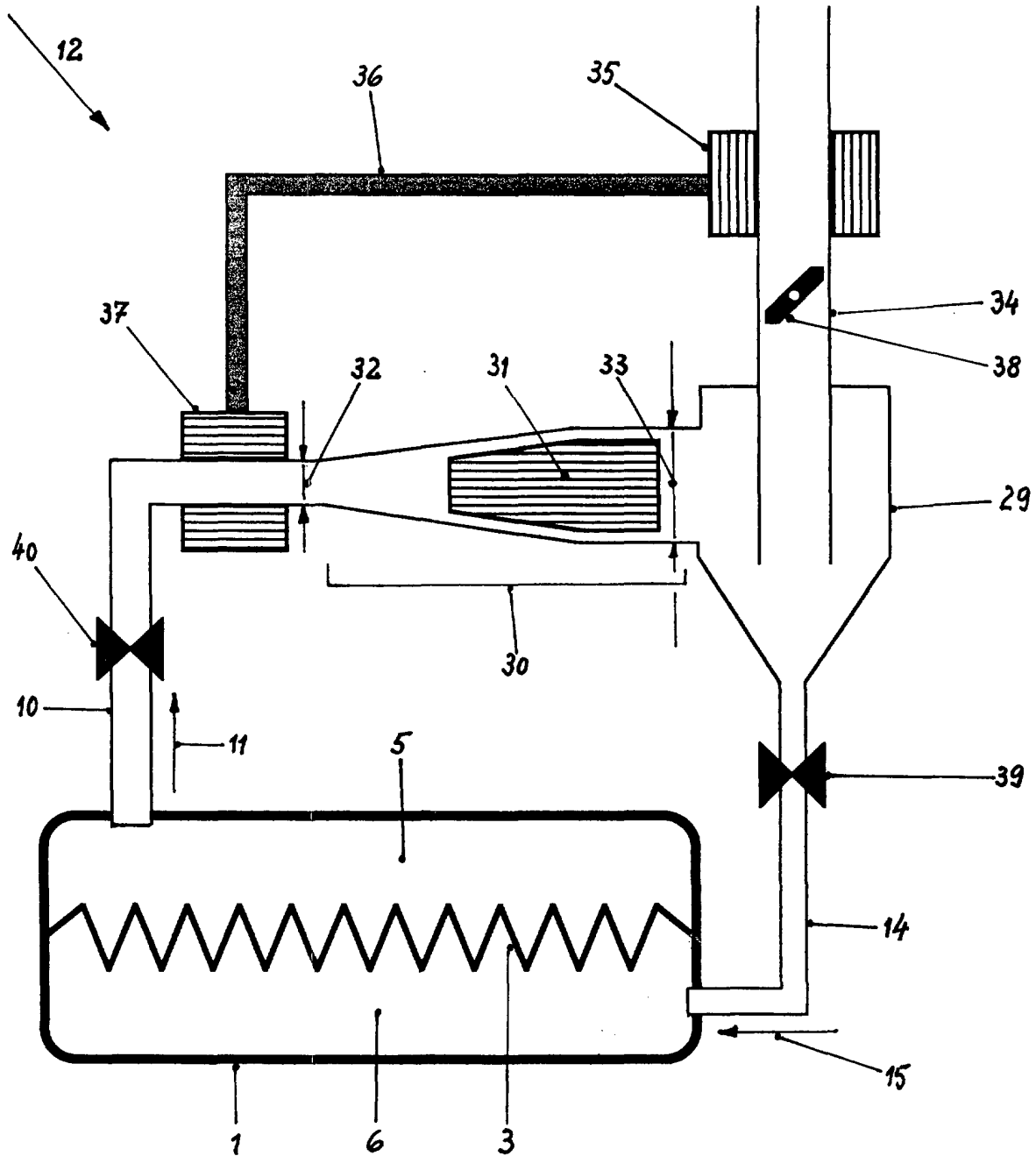


Fig. 3



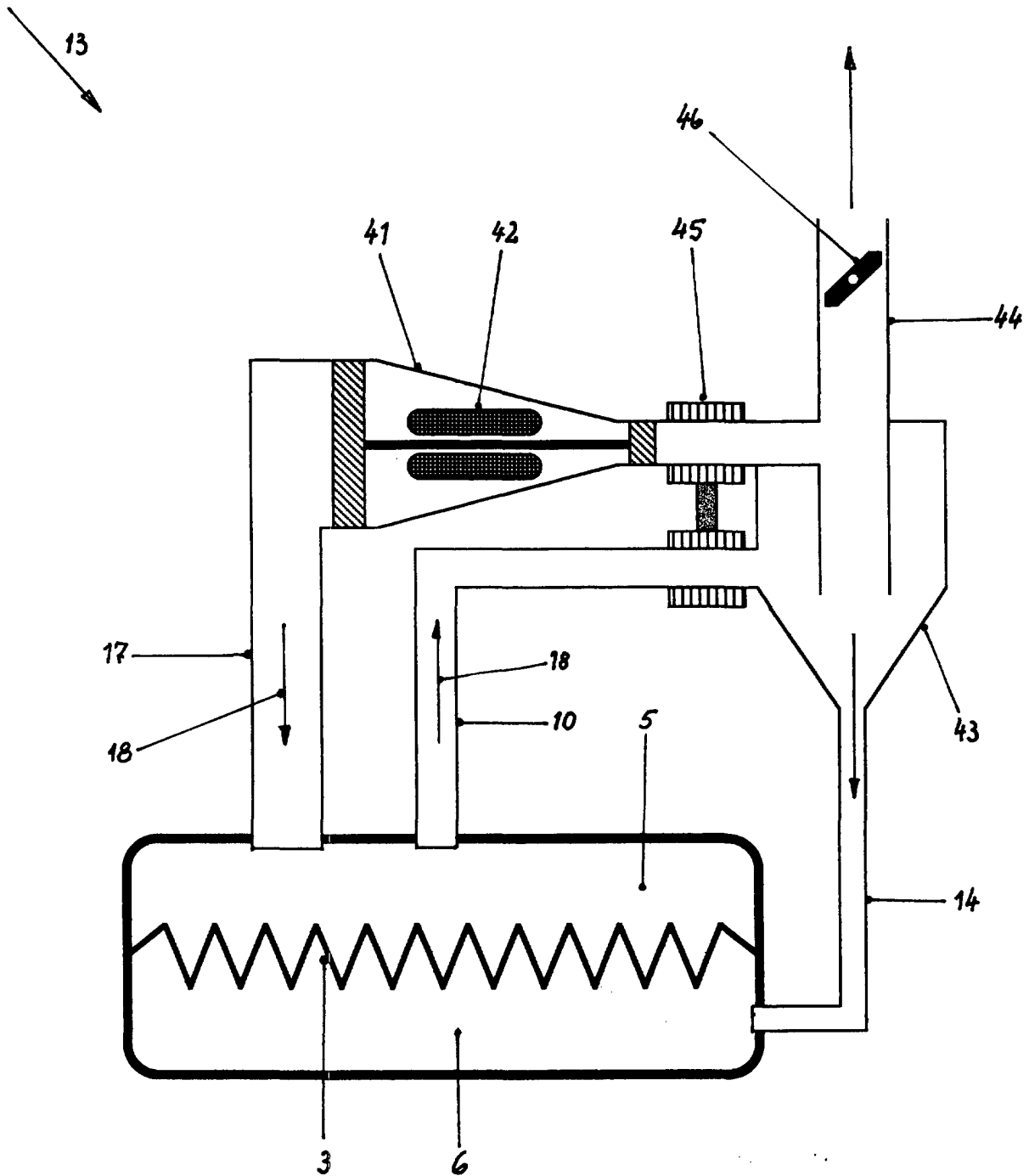


Fig. 4

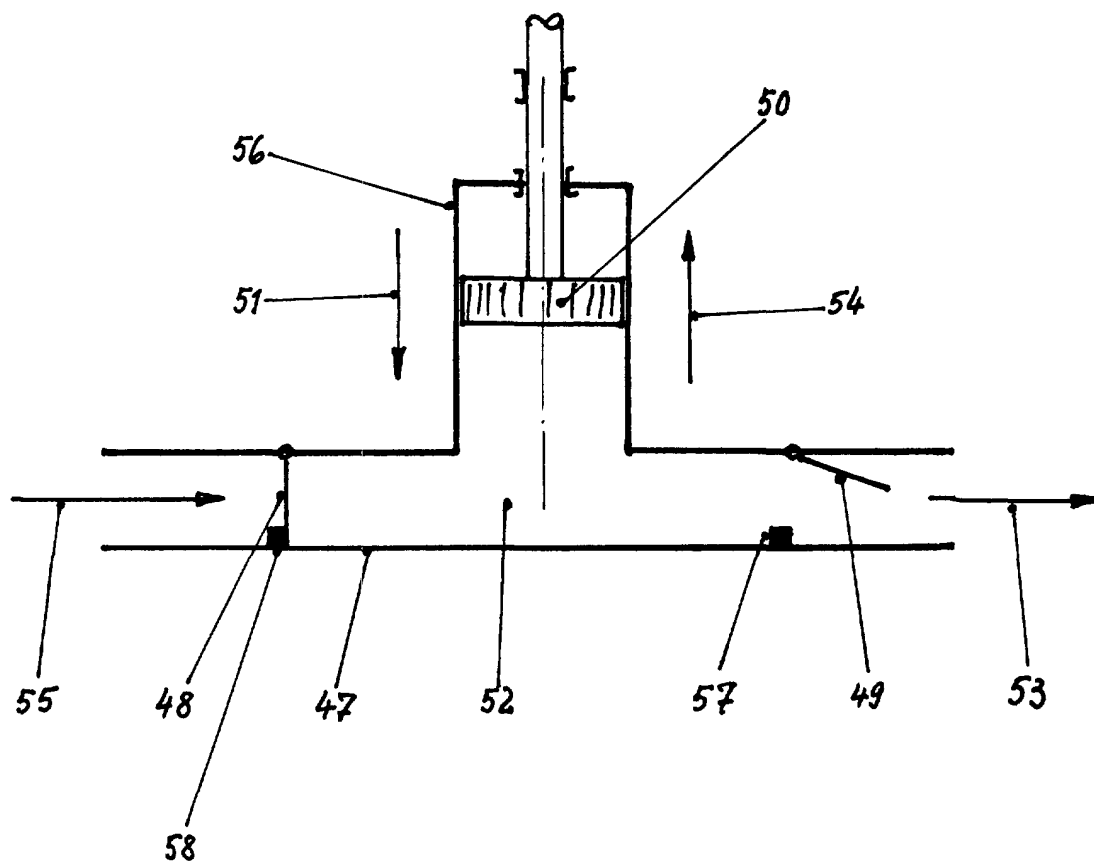


Fig. 5